

# Condiciones de luz subacuática como factores determinantes de la eficiencia fotosintética fitoplanctónica. I. Embalse de Rio Tercero (Córdoba, Argentina)\*.

CRISTINA ROMERO, ALDO A. MARIAZZI y PATRICIA ARENAS

Instituto de Limnología Dr. R. A. Ringuelet. Casilla de Correo nº 55. Berisso. Prov. de Bs. As. Argentina.

Recibido: agosto 1986.

## SUMMARY

**Underwater light conditions as a key factor for phytoplankton photosynthetic efficiency.** The Secchi disc depth, the energy of photosynthetic available radiation (PAR) in the water column, the primary production rate and the concentration of photosynthetic pigments were measured in Rio Tercero reservoir (Argentina). The compensation point, the relative intensities of such point and Secchi disc, the photosynthetically stored radiation, and the respective photosynthetic efficiencies were calculated. The percentage of transmitted light fluctuated according to the suspended amount of particulated material (winter) or the presence of high algal concentration (spring-summer). The euphotic stratum in summer (1.1 m to 3 m) reached 5.5 m in winter (August). The mean extinction coefficient up to the euphotic stratum was very highly variable. The photosynthetic efficiency was lower than 1 in surface during spring and summer. The values obtained in the euphotic stratum were intermediate. Other significantly high values were found at deeper levels. The relevant fluctuations of all variables including the extinction coefficient, the relative depth and intensity of Secchi disc, the euphotic stratum depth and the compensation point confirm the eutrophic characteristics of the ecosystem. Eutrophication levels of reservoir are clear from values of other parameters such as the primary production rate, pigment concentration, photosynthetic efficiencies and the seasonal appearance of algal blooms.

**KEYWORDS:** PAR, photosynthetic efficiency, light intensity, extinction coefficient, eutrophication.

**PALABRAS CLAVE:** PAR, eficiencia fotosintética, intensidad luz, coeficiente de extinción, eutrofización.

## INTRODUCCIÓN

La energía que determina prácticamente todo el metabolismo de una masa de agua es la solar, que convertida en química por los productores primarios, controla a su vez el desarrollo de los restantes niveles tróficos. La producción primaria utiliza una fracción muy pequeña de luz incidente comprendida

entre los 390 y 710 nm. Del resto de la radiación, la de onda corta tiene efectos sobre la vida, y la de onda larga desempeña un papel importante como generador de calor (MARGALEF, 1983).

Las características energéticas y espectrales de la luz que penetra en el agua dependen de la intensidad de la luz solar, del ángulo de incidencia, de la reflexión por la

(\*) Contribución nº 281 del Instituto de Limnología Dr. R. A. Ringuelet, UNLP- CONICET. Este trabajo se realizó a través de un convenio entre la Comisión Nacional de Energía Atómica y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

TABLA I. Parámetros morfométricos, físicos, químicos y biológicos del Embalse de Río Tercero, Córdoba, Argentina. Se indica el valor medio anual, el mínimo y el máximo. *Morphological, physico-chemical and biological parameters of the Río Tercero reservoir, Córdoba, Argentina. Annual mean, minimum and maximum values are indicated.*

Superficie (ha)	4529.0	
Volumen (hm <sup>3</sup> )	550.0	
Profundidad máxima (m)	46.5	
Profundidad media (m)	12.2	
Prod. primaria (mg C/m <sup>3</sup> h)	17.70	(0.00-91.40)
C particulado (mg/m <sup>3</sup> )	965.08	(350.00-2717.90)
Clorofila (mg/m <sup>3</sup> )	11.70	(0.00-96.12)
Feofitina (mg/m <sup>3</sup> )	7.68	(0.00-121.07)
Carbonatos (mg/l)	0.11	(0.00-1.50)
Bicarbonatos (mg/l)	15.80	(10.10-22.90)
N particulado (mg/m <sup>3</sup> )	132.07	(29.50-458.00)
Nitratos (mg N-NO <sub>3</sub> /l)	0.076	(0.00-0.48)
Amonio (mg N-NH <sub>4</sub> /l)	0.24	(0.00-0.47)
Conductividad (umho/cm)	140.05	(86.00-193.00)
Temperatura (°C)	16.75	(7.70-25.50)
Ortofosfato (ug P-PO <sub>4</sub> /l)	7.74	(0.00-93.00)
Dióxido de Carbono (mg/l)	0.20	(0.00-1.20)
Oxígeno disuelto (mg/l)	7.15	(0.00-10.20)
Sílice (mg SiO <sub>2</sub> /l)	6.19	(0.30-14.70)

superficie del agua y de las propiedades ópticas del agua (presencia de partículas en suspensión, pigmentos y sustancias disueltas).

El objetivo del presente trabajo es analizar el condicionamiento de la actividad y eficiencias fotosintéticas del fitoplancton al clima de luz subacuático. Para ello se estudian las interrelaciones del coeficiente de extinción vertical de la luz, disco de Secchi y porcentajes de luz transmitida con algunas características del fitoplancton como son la concentración de clorofila a, tasa de producción primaria y eficiencia fotosintética.

El Embalse de Río Tercero está situado en el valle de Calamuchita (Prov. de Córdoba, Argentina), a los 32° 10' lat S y 64° 30' long O. Según la clasificación climática de Thornwaite, la región tiene un clima subhúmedo-seco (DRAGO & DEPETRIS, 1974). Según BOLTOVSKOY & FOGGETTA (1985) la región tiene un clima subtropical templado mediterráneo. Algunos caracteres morfométricos, físicos y químicos se dan en la tabla I. Según

BOLTOVSKOY *et al.* (1980) el aspecto más sobresaliente del plancton es el desarrollo de dos floraciones algales; *Peridinium gatunense* domina al final del verano y a principios de otoño, y cianobacterias, desmidiáceas junto con clorococales se desarrollan a finales del invierno-comienzos de la primavera. MARIAZZI *et al.* (1981, 1983) estudiaron aspectos bacteriológicos, tasas de producción primaria y concentración de pigmentos fotosintéticos de forma detallada.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las mediciones de luz se efectuaron metro a metro en una estación central del embalse, libre de vegetación. Se utilizó un fotómetro-radiómetro cuántico Li-Cor 192 SB. Se midió también la transparencia o profundidad a la cual deja de ser visible el disco de Secchi (Z<sub>DS</sub>) y la intensidad de la luz al mediodía sobre la superficie del agua (I<sub>0</sub> max). La radiación solar mensual y diaria fue proporcionada por la CNEA.

Para el cálculo del punto de compensación (Z<sub>pc</sub>) y de la radiación fotosintéticamente almacenada (PSR), se utilizó la determinación de la producción primaria por el método del oxígeno disuelto (método de Winkler, modificación de Alsterberg) realizada a los niveles: superficie, 0.5, 1, 2.5, 5 y 7.5 metros de profundidad. Se cubrió todo el período de luz con dos incubaciones diarias. A estos mismos niveles se determinó el seston por gravimetría y la concentración de clorofila a (LORENZEN, 1967).

La atenuación de la luz en el agua puede calcularse mediante la fórmula de Lambert-Beer:

$$I_z = I_0' \cdot e^{-kz}$$

donde:

I<sub>z</sub> = intensidad de la luz a la profundidad z

I<sub>0</sub>' = intensidad de la luz superficial

k = coeficiente de extinción vertical debido al agua

Despejando k de esta ecuación:

$$K = \frac{-\ln (I_z/I_0')}{z}$$

La aplicación de este modelo a la luz solar en aguas naturales presupone asumir que los rayos de la luz son paralelos, que el medio absorbe pero que no dispersa y que la luz es monocromática. A pesar de que no se cumplen estos requisitos, la fórmula ha sido utilizada por numerosos autores para estimar el coeficiente de extinción. El sensor utilizado mide la intensidad y energía de la radiación fotosintéticamente disponible (PAR), por lo cual el coeficiente de extinción calculado es el correspondiente a esta fracción del espectro solar (390-710 nm), mediante la aplicación de la fórmula propuesta por DUBINSKY & BERMAN (1979):

$$k_{PAR} = \frac{-\ln (PAR_{z2}/PAR_{z1})}{z_1 - z_2}$$

La eficiencia fotosintética se calculó en base a la fórmula propuesta por DUBINSKY (1980):

$$\text{eficiencia fotosintética} = \frac{PSR}{PAR/z} \times 100$$

Donde:

PSR: radiación fotosintéticamente almacenada (MOREL, 1978).

PAR/z: radiación fotosintéticamente disponible entre niveles  $z_1$  y  $z_2$ , ambas expresadas en  $\text{cal/m}^3 \text{h}$ ; se utilizan como factores de conversión que 1 mg C corresponde a 12 cal y que 1 einstein (685 nm) equivale a 41.6 cal.

**RESULTADOS**

La radiación solar diaria promedio fue de  $3231 \text{ kcal/m}^2 \text{ día}$ , correspondiendo por tanto a una zona templada (ODUM, 1971); con

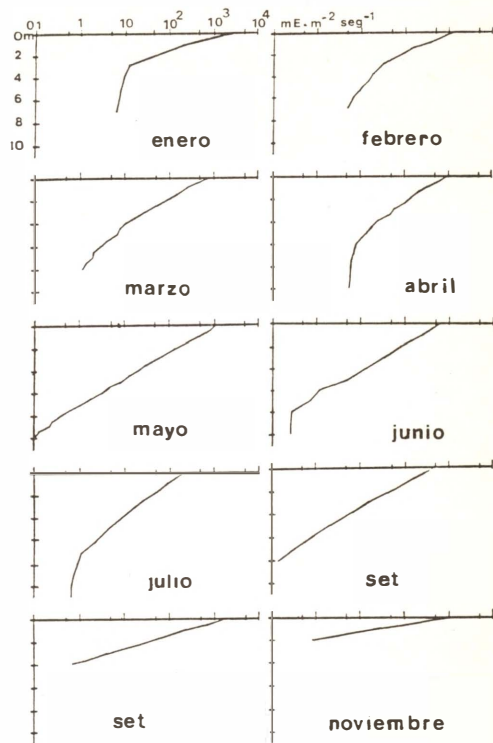


FIG. 1. Perfiles de irradiación subacuática (PAR,  $\text{uE/m}^2 \text{sg}$ ). Profiles of downwelling irradiation (PAR,  $\text{uE/m}^2 \text{sg}$ ).

valores de  $2516 \text{ kcal/m}^2 \text{ día}$  durante el invierno (Junio-Agosto) y  $4220 \text{ kcal/m}^2 \text{ día}$  durante el verano (Noviembre-Febrero). En la figura 1 se dan los valores de energía recibidos en cada nivel. El porcentaje de luz transmitida (fig. 2) mostró fluctuaciones estacionales muy marcadas en función de la cantidad de materia particulada en suspensión y de la presencia de densas poblaciones algales en capas de aguas superficiales (primavera-verano). Mayor penetración de la luz se observó desde Abril a Agosto. Mientras los pigmentos fotosintéticos absorben efectivamente la luz, el material particulado contribuye a su dispersión.

De mayo a agosto de 1981 se observaron concentraciones promedio de clorofila a y seston, dentro del estrato eufótico, de 49.05 y  $25 \text{ mg/m}^2$ , respectivamente. Junio fue el

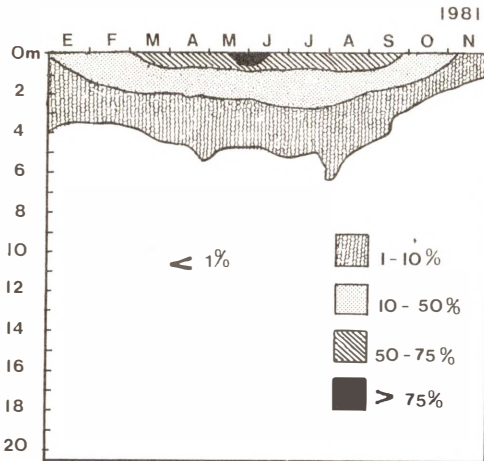


FIG. 2. Porcentajes de luz transmitida. *Percentage of transmitted light.*

único mes invernal con valores elevados de ambas variables ( $107.59$  y  $43.00$   $\text{mg}/\text{m}^2$ ), probablemente originado por resuspensión de sedimentos del fondo, causados por un incremento de la turbulencia (TSUDA, 1980). El embalse de Rio Tercero se caracteriza por la existencia de un período de circulación invernal del agua (desde Abril a Agosto) con tasas menores de fotosíntesis; y otro período de estratificación (primavera-verano) con elevada actividad fotosintética concentrada en los estratos más superficiales. Durante el período estival (Noviembre-Febrero) el estrato eufótico osciló entre 1.1 y 3 m de profundidad, mientras que durante el invierno (de Junio a Agosto) alcanzó valores comprendidos entre 4 y 5.8 m. Fluctuaciones notables en las tasas de fotosíntesis y profundidad del estrato eufótico, como las halladas por nosotros, son de esperar en lagos productivos, tal como señala WETZEL (1981) para el lago Wintergreen. Por el contrario este autor halló pocas variaciones en la penetración de la luz en el lago Lorenzo, poco productivo.

El coeficiente de extinción ( $k$ ) es constante en un medio determinado para

cada longitud de onda, influyendo en su valor, además del medio en cuestión, las partículas en suspensión, la presencia de pigmentos fotosintéticos y compuestos disueltos. El coeficiente de extinción medio hasta el estrato eufótico fue menor a la unidad (tabla II) desde Abril a Agosto, incrementándose en primavera y verano, con un valor excepcionalmente elevado en Noviembre (verano). El incremento del coeficiente de extinción con el incremento de la concentración de clorofila  $a$  (BERMAN, 1976) es un parámetro de interés, siendo medida del grado de autooscurecimiento ocasionado por densas poblaciones algales, pudiendo ser utilizado para predecir las concentraciones de clorofila. En concordancia con este autor se observa en nuestro embalse una fuerte atenuación de la luz durante la primavera (Septiembre-Octubre) con unas densas poblaciones algales concentradas cerca de la superficie. MARIAZZI & CONZONNO (1980) destacan el valor excepcionalmente elevado de clorofila en superficie ( $953$   $\text{mg}/\text{m}^3$ ) durante Septiembre de 1977, provocado por una floración de *Anabaena spiroides*.

Otro factor que guarda relación con el coeficiente de extinción, es el grado de polución del agua, hallándose valores de  $k$  mayores cuanto mayor es la polución. TSUDA (1980) da un valor de  $k=0.62/\text{m}$  para la parte sur del lago Biwa, considerado como eutrófico y  $k=0.34/\text{m}$  para el área norte no polucionada.

La medida de la transparencia del agua o profundidad a la cual deja de visualizarse el disco de Secchi osciló entre 1.7 y 1.5 metros, desde Marzo a Agosto; fue mayor en Enero y Febrero debido a la mayor perpendicularidad de la radiación luminosa. Disminuyó notoriamente en Septiembre y Noviembre (0.6 y 0.3 m, respectivamente) debido a una mayor concentración algal en los estratos superiores. El valor de la transparencia anual promedio fue de 1.38 m. La intensidad de luz que llegó al disco de Secchi ( $I_{ZDS}$ ) y dicha intensidad

TABLA II. Resultados obtenidos para cada fecha de muestreo. RSM: radiación solar diaria promedio. RSD: radiación solar del día de muestreo.  $I_{o, \max}$ : intensidad de luz recibida en superficie al mediodía.  $I_o'$ : intensidad de luz subsuperficial.  $Z_{DS}$  profundidad del disco de Secchi.  $I_{ZDS}$ : intensidad de luz que llega al disco de Secchi.  $I_{ZDS}/I_o'$ : intensidad relativa del disco de Secchi.  $Z_{pc}$ : profundidad del punto de compensación.  $I_{pc}$ : intensidad de luz que llega al punto de compensación.  $I_{pc}/I_o'$ : intensidad relativa del punto de compensación.  $Z_1\%$ : profundidad del estrato eufótico.  $K$ : coeficiente de extinción (PAR) medio en el estrato eufótico.  $I_{pp, \max}$ : intensidad y porcentaje de luz que llega a la profundidad de mayor producción primaria. *Results for each sampling date. RSM: Mean daily solar radiation. RSD: Solar radiation of the sampling date.  $I_{o, \max}$ : surface light intensity at midday.  $I_o'$ : subsurface light intensity.  $Z_{DS}$ : depth of Secchi disc.  $I_{ZDS}$ : light intensity at Secchi disc depth.  $I_{ZDS}/I_o'$ : relative intensity of Secchi disc.  $Z_{pc}$ : compensation point depth.  $I_{pc}$ : light intensity at compensation point depth.  $I_{pc}/I_o'$ : relative intensity of compensation depth.  $Z_1\%$ : euphotic layer depth.  $K$ : mean (PAR) extinction coefficient in the euphotic layer.  $I_{pp, \max}$ : intensity and percentage of light arriving to the maximum primary production depth.*

FECHA 1981	27/01	24/02	25/03	28/04	29/05	28/06	04/07	02/09	29/09	05/11
RSM (kcal/m <sup>2</sup> día)	4270	4470	3950	2810	2150	2370	2520	2730	4100	4310
RSD (kcal/m <sup>2</sup> día)	3760	4860	3030	3830	2800	2710	990	3420	5250	1660
$I_{o, \max}$ (vE/m <sup>2</sup> sg)	2300	1900	1650	1320	1200	1230	350	840	1920	2100
$I_o'$ (vE/m <sup>2</sup> sg)	1900	1500	820	1080	1050	620	250	600	1620	1890
$Z_{DS}$ (m)	1.75	2.25	1.46	1.70	1.70	1.50	1.50	1.00	0.60	0.30
$I_{ZDS}$ (vE/m <sup>2</sup> sg)	250	70	160	190	200	140	60	180	560	550
$I_{ZDS}/I_o'$ (%)	13.1	4.7	19.5	16.6	19.0	22.6	24.0	30.0	34.6	29.1
$Z_{pc}$ (m)	0.88	1.00	2.24	2.02	2.15	3.83	2.50	0.52	1.96	0.30
$I_{pc}$ (cal/cm <sup>2</sup> min 10 <sup>3</sup> )	8.0	6.0	1.1	2.2	2.1	0.3	0.4	5.8	3.8	9.1
$I_{pc}$ (vE/m <sup>2</sup> sg)	470	360	35	135	130	17	26	350	230	550
$I_{pc}/I_o'$ (%)	24.7	24.0	7.9	12.4	2.7	10.4	58.3	14.2	29.1	29.1
$Z_1\%$ (m)	2.8	3.0	4.0	5.0	4.2	4.9	5.8	4.1	2.4	1.1
$K$ (1/m)	2.30	1.28	1.10	0.97	0.89	0.94	0.90	1.16	1.85	4.20
$I_{pp, \max}$ (vE/m <sup>2</sup> sg)	710	690	500	690	810	620	170	600	1620	1890
$I_{pp, \max}$ (% luz trans.)	50	46	61	61	77	99	68	99	99	99

respecto de la subsuperficial, expresada porcentualmente ( $I_{ZDS}/I_o'$  %) se dan en la tabla II. Esta intensidad relativa promedio fue de 22.34 %, con valores de Enero a Mayo menores. ICHIMURA (1956) y BEETON (1957) (citado por VOLLENWEIDER, 1969), obtuvieron valores del 15 % y TSUDA (1980), para el lago Biwa, halló un rango de variación de 15-27% (promedio de 22%). Este parámetro se incrementa gradualmente a medida que la

profundidad del disco de Secchi disminuye, en aguas con mayor concentración de material particulado y tasas de producción primaria elevadas.

El punto de compensación ( $Z_{pc}$ ) es aquella profundidad a la cual la fotosíntesis iguala el valor de la respiración de la comunidad fitoplanctónica. Teóricamente, los organismos mantenidos a la intensidad del punto de compensación ( $I_{pc}$ ) no muestran incremento de su biomasa. Al

TABLA III. Eficiencias fotosintéticas expresadas en porcentaje a diferentes profundidades. Entre paréntesis se indica la intensidad de luz transmitida que llega a ese nivel. *Photosynthetic efficiencies (%) at different depths. In brackets, intensity of transmitted light arriving to that level.*

FECHA 1981	29/01	24/02	26/03	28/04	29/05	28/06	04/08	02/09	29/09	05/11
Superficie	0.30	0.88	1.10	0.81	2.32	2.01	5.03	0.43	0.58	0.17
0.5 m	1.70	2.81	2.26	1.29	1.81	2.92	5.68	0.35	1.00	0.53
1.0 m	2.00	6.34	1.11	2.39	2.18	3.83	3.13	0.32	2.49	1.13
2.5 m	2.30	13.53	2.29	2.16	8.01	23.19		0.00	4.65	
5.0 m	5.50	33.20	5.05			131.00		68.30		
						(0.87 %)		(0.37 %)		
7.5 m			72.29			159.00		144.00		
			(0.17 %)			(0.04 %)		(0.06 %)		

haberse efectuado el cálculo de  $Z_{pc}$  en base a la determinación de producción primaria por el método del oxígeno disuelto, en el cálculo de la respiración no se descartó aquella proveniente de las bacterias y del zooplancton. Por lo tanto, el verdadero punto de compensación es más profundo que el calculado.

$Z_{pc}$ , la intensidad de luz que llega a esta profundidad ( $I_{pc}$ ) y la intensidad relativa del mismo ( $I_{pc}/I_o$ , %) mostraron fluctuaciones estacionales muy marcadas, como es de esperar en aguas con tasas de fotosíntesis estacionales muy fluctuantes.  $Z_{pc}$ , a la inversa que su intensidad, fue mayor de Marzo a Julio (invierno), disminuyendo en primavera y verano a valores menores al metro de profundidad. Es decir que por debajo de ella, el consumo de oxígeno diario de la comunidad planctónica supera la producción de oxígeno de fitoplancton.

La intensidad relativa ( $I_{pc}/I_o$ ) osciló en forma no regular, con un valor promedio de 19 %.  $I_{pc}$  expresada en base al cálculo de producción primaria durante las 24 horas estuvo comprendida entre 0.3 - 0.4 (Junio y Agosto) y 8.0 - 9.1  $10^{-3}$  cal/cm<sup>2</sup>.min. (Noviembre y Enero). STRICKLAND (1958) halló un valor de dicho parámetro para aguas templadas comprendido entre 2.0 y 9.0  $10^{-3}$  cal/cm<sup>2</sup> min; WRIGHT (1964) halló valores de 0.14  $10^{-3}$  cal/cm<sup>2</sup>.min para fotosíntesis fitoplanctónica bajo una cubierta de hielo.

La eficiencia fotosintética del fitoplancton es una respuesta adaptativa de la población al clima de luz del ambiente.

RIPER *et al.* (1979) hallaron que las algas tienen la capacidad de regular sus pigmentos intracelulares en horas, ajustando su tasa fotosintética a las variaciones de luz ambiental.

El valor máximo de la eficiencia del sistema fotosintético en la utilización de la radiación luminosa universalmente aceptado, es del 25 %, que equivale al requerimiento de 8 cuantos de luz por molécula de CO<sub>2</sub> reducida. El valor numérico de dicha eficiencia depende de la elección del numerador y del denominador de dicha fracción. Nosotros utilizamos la fórmula propuesta por DUBINSKY (1980).

La teoría predice que por debajo del nivel de luz de saturación, a medida que la radiación fotosintéticamente disponible (PAR) disminuye, la eficiencia fotosintética se incrementa. La eficiencia fue menor a la unidad en superficie durante los meses de primavera y verano, debido a que los elevados niveles de luz saturan el sistema fotorreceptor. Las mayores eficiencias se obtuvieron durante los meses invernales y en todo el estrato eufótico. DUBINSKY & BERMAN (1981) para el lago Kinneret dieron eficiencias menores al 10 % y más de la mitad de las veces inferiores al 5 %; y para la laguna experimental de Technien (Israel) valores de hasta 40 %, cuando la intensidad relativa de luz era de 0.1 % de la intensidad superficial. Estos autores y MOREL (1978) hallaron, al igual que nosotros, valores de eficiencias superiores al 100 % a intensidades de luz relativas menores al 1 %. En la tabla III se indican

estos valores y entre paréntesis el valor de la intensidad de luz relativa correspondiente en los niveles inferiores. TILZER *et al.* (1973) para el lago Tahoe hallaron eficiencias incrementadas hasta 400 veces a medida que la luz se acercaba al valor limitante para la fotosíntesis.

Se han calculado para nuestros datos las relaciones entre el coeficiente de extinción (k), profundidad del disco de Secchi (Z<sub>DS</sub>), del punto de compensación (Z<sub>pc</sub>) y del estrato eufótico (Z<sub>1%</sub>), hallándose los valores dados en la tabla IV. El valor de c más semejante a nuestro trabajo es el de ISHIDA *et al.* (1978), el cual da valores entre 1.2 y 1.7 para aguas marinas (región de Setonaikai, Japón). Constantes más elevadas fueron halladas por JONES & WILLS (1956) (c=2.1), y por VOLLENWEIDER (1969) (c=2.2); KIKUCHI (1935), MARGALEF (1983) e IKUSIMA (1967) dan valores de c=1.7-1.9. RULL *et al.* (1984) hallaron valores que oscilaban entre 0.6 y 2.3 (media= 1.7455) para 98 embalses españoles. El valor de esta constante es menor cuanto mayor es el grado de eutrofización.

Para la relación Z<sub>1%</sub>=c.Z<sub>DS</sub>, se halló un valor de c= 2.71 igual al dado por TSUDA (1980) para el lago Biwa. Respecto de la ecuación Z<sub>pc</sub> = c . Z<sub>DS</sub>, nuestro valor fue de 1.21. SHAPIRO *et al.* (1975) y CARLSON (1977) resolvieron la relación entre la concentración de clorofila hasta la profundidad del disco de Secchi y dicha profundidad (ecuación cuarta en la tabla IV) con un valor de c=0.68 y sugirieron que éste descende hasta 0.3-0.5 a medida que aumenta la turbidez. El valor de c para esta misma relación hallado por nosotros fue de 0.46 con un nivel de significación de 98 % (P < 0.02), haciéndonos suponer que en la absorción de la luz tiene mayor incidencia el fitoplancton que las partículas en suspensión o sustancias disueltas. RULL *et al.* (1984) por el contrario, hallaron buenas correlaciones de la ecuación de SHAPIRO *et al.* (1975) sólo en primavera-verano y poco significativas durante la época de

TABLA IV. Correlación (C) entre parámetros relacionados con la luz, profundidad y clorofila en el embalse de Rio Tercero. Símbolos como en la tabla II. P, probabilidad de error. *Correlation (C) between light parameters, depth and chlorophyll values in Rio Tercero reservoir. Symbols as in table II. P, error probability.*

	C	P
$k = c/Z_{DS}$	1.28	0.05
$Z_{1\%} = c \cdot Z_{DS}$	2.71	0.10
$Z_{pc} = c \cdot Z_{DS}$	1.21	0.10
$Clor_{DS}^c = 7.7 / Z_{DS}$	0.46	0.02
$Clor_{DS}^c = 7.7 / Z_{pc}$	0.45	0.10
$Clor_{1\%}^c = 7.7 / Z_{DS}$	0.41	0.10
$Clor_{1\%}^c = 7.7 / Z_{pc}$	0.36	0.10

mezcla vertical (otoño-invierno). Nuestros resultados están comprendidos en este último intervalo, confirmando junto a los otros el grado de eutrofización del ecosistema. La relación entre la producción primaria y la profundidad del disco de Secchi fue poco significativa (r= 0.62; P<0.10)

## CONCLUSIONES

El porcentaje de luz transmitida fluctuó en concordancia con otros parámetros, como la resuspensión de sedimentos del fondo durante el invierno o con la presencia de densas poblaciones algales, durante la primavera y el verano.

Los valores del coeficiente de extinción, profundidad e intensidad relativa del disco de Secchi, profundidad del estrato eufótico, e intensidad relativa del punto de compensación, son índice del estado trófico del Embalse de Río Tercero.

Las eficiencias fotosintéticas fueron menores durante la primavera y verano, probablemente por saturación del sistema fotorreceptor, y mayores durante el invierno o a mayores profundidades.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al licenciado Víctor Conzonno su colaboración en el trabajo de campo y laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- BERMAN, T. 1976. Light penetrance in lake Kinneret. *Hydrobiologia*, 49(1): 41-48.
- BIRGE, E.A. & JUDAY, C. 1929. Transmission of solar radiation by the waters of inland lakes. *Trans. Wisconsin Acad. Sci., Art and Letters*, 24: 509-580.
- BOLTOVSKOY, A., BATTISTONI, P., GOMEZ, N., ESCALANTE, A.H., SOLARI, L.C. & VUCETICH, M.C. 1980. El plancton del Embalse Río Tercero, Córdoba, Argentina. *Resum. VIII Reun. Arg. Ecol.*, Santa Fé, Argentina: 63.
- BOLTOVSKOY, A. & FOGGETTA, M. 1985. Limnología física del embalse Río Tercero (térmica, hidrología y derivaciones biológicas). *Biología acuática*, 7.
- CARLSSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 361-369.
- DRAGO, A.C. & DEPETRIS, P.J. 1974. Erosión en la cuenca imbrífera y sedimentación en el Embalse Río Tercero (Córdoba, Argentina). *Rev. de la Asoc. Geol. Arg.*, 29(4): 470-478.
- DUBINSKY, Z. 1980. Light utilization efficiency in natural phytoplankton communities. In: *Primary productivity in the sea*. P.G. Falfowsky (ed.) N.Y.: 83-97.
- DUBINSKY, Z. & BERMAN, T. 1979. Seasonal changes in the spectral composition of downwelling irradiance in Lake Kinneret (Israel). *Limnol. Oceanogr.*, 24(4): 652-663.
- DUBINSKY, Z. & BERMAN, T. 1981. Photosynthetic efficiencies in aquatic ecosystems. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21: 237-243.
- ISHIDA, K., YAMASHITA, K. & TAKEZAWA, M. 1978. On the optical properties of the sea water in the Seto Inland. *Umi to Sora*, 54: 21-32.
- ICHIMURA. 1956. *Bot. Mag. Tokyo*, 69: 219.
- IKUSIMA, I. 1967. Ecological studies on the productivity of aquatic plant communities III. *Bot. Mag. Tokio*, 80: 57-67.
- JONES, D. & WILLS, M.S. 1956. The attenuation of light in sea and estuarine waters in relation to the concentration of suspended solid matter. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 35: 431.
- KIKUCHI, K. 1935. The relation between the under-water illumination and the transparency of the water of lakes. *Jap. J. Limnol.*, 5: 121-124.
- LORENZEN, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12: 343-346.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona. 1010 pp.
- MARIAZZI, A., ROMERO, M.C., VILLALOBOS, E.R., DI SIERVI, M.A. & MARINELARENA, A.J. 1981. Estudio bacteriológico en el Embalse del Río Tercero (prov. de Córdoba, Arg.). Factores ecológicos y predicciones sobre efectos térmicos. *Limnobiós*, 2(2): 89-110.
- MARIAZZI, A.A., DI SIERVI, M., ROMERO, M.C. & NAKANISHI, M. 1983. Distribución espacial y estacional de pigmentos fotosintéticos en la zona del embalse del Río Tercero. *Limnobiós*, 2(7): 464-470.
- MOREL, A. 1978. Available, usable and stored radiant energy in relation to marine photosynthesis. *Deep. Sea. Res.*, 25: 673-688.
- ODUM, E.P. 1971. *Fundamentos de Ecología*. 3ª ed. W.B.. Saunders Phil. 574 págs..
- RIPER, D.W., OWENS, T.G. & FALKOWSKY, P. G. 1979. Chlorophyll turnover in *Skeletonema costatum*, a marine plankton diatom. *Plant Physiol.*, 64:49-54.
- RULL, V., VEGAS, T. & NAVARRO, J. 1984. Extinción de la luz en los embalses españoles. Relaciones con la concentración de clorofila y las partículas en suspensión. *Oecologia aquatica*, 7: 25-36.
- SHAPIRO, J.J., LUDQUIST, B. & CARLSSON, R.E. 1975. Involving the public in Limnology. An approach to communication. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19: 886-874.
- STRICKLAND, J.D.H. 1958. Solar radiation penetrating the ocean. A review of requirements, data and methods of measurement, with particular reference to photosynthetic productivity. *J. Fish Res. Bd. Canada*, 15: 453-493.
- TILZER, M.M., GOLDMAN, C.R. & de AMEZAGA, E. 1975. The efficiency of light energy utilization by lake phytoplankton. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19: 800-808.
- TSUDA, R. 1980. Measurements of underwater spectral irradiance in Lake Biwa. *Jap. J. Limnol.*, 41(2): 57-67.
- VOLLENWEIDER, R.E. 1969. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. IBP Handbook 12. F.A. Davis Company Phylad. 213 pp.
- WETZEL, R.G. 1981. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona. 679 pp.
- WRIGHT, R.T. 1964. Dynamics of the phytoplankton community in an ice-covered lake. *Limnol. Oceanogr.*, 9: 163-178.